



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 43 13 123 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
C 08 J 11/16
C 08 L 67/00
C 08 L 77/00
B 29 B 17/02

⑳ Aktenzeichen: P 43 13 123.9
㉔ Anmeldetag: 22. 4. 93
㉓ Offenlegungstag: 5. 1. 95

DE 43 13 123 A 1

㉔1 Anmelder:
Veba Oel AG, 45896 Gelsenkirchen, DE

㉔2 Erfinder:
Hoffmann, Ulrich, Prof. Dr.-Ing., 37154 Northeim, DE;
Kunz, Ulrich, Dr.-Ing., 38678 Clausthal-Zellerfeld, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Spaltung und Hydrierung von Polymeren

⑤7 Es wird ein Verfahren zur Spaltung von Polymeren vorgeschlagen, bei dem die eingesetzten Polymere durch Einwirkung von Ultraschall gespalten werden und die Spaltprodukte in einer sich direkt anschließenden Reaktion zu den als Endprodukten des Verfahrens isolierbaren Verbindungen umgesetzt werden. Bei dieser Reaktion finden bevorzugt die katalytische Hydrierung, die Verseifung bzw. Hydrolyse, die Ammonolyse und die Alkoholyse Anwendung.

DE 43 13 123 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 11. 94 408 061/11

8/31

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Spaltung von Polymeren, insbesondere zur Wiederverwertung von Kunststoffen.

Die Wiederverwertung von Kunststoffen gewinnt immer mehr an Bedeutung, da sie wesentlich zur Einsparung von Energie, Rohstoffen und Deponieraum beiträgt. Bisherige Verfahren zur Wiederverwertung von Kunststoffen reichen von der Verbrennung bis zur Hydrierung in Sumpfpfase-Reaktoren oder in Hydrocrackern zur Gewinnung von Mineralölen. Je nach Art des Verfahrens treten unterschiedliche Probleme und Nachteile auf.

Die Verbrennung z. B. ist eine Endverwertung, die nur die Nutzung der freiwerdenden Verbrennungswärme erlaubt. Zudem hat die Verbrennung von Kunststoffen den Nachteil, daß bei der Prozeßführung besondere Bedingungen eingehalten werden müssen, um die Bildung von Dioxinen, insbesondere bei der Verbrennung von PVC, sicher zu vermeiden.

Bei der Gewinnung von Gasen aus Polymeren mittels Pyrolyse, einem weiteren Verfahren zur Verwertung von Kunststoffen, wird die molekulare Struktur der Polymere weitgehend abgebaut, was den Einsatz dieser Gase für die Herstellung von hochwertigen Produkten sehr stark einschränkt.

Auch das Einarbeiten von Alt-Kunststoff in Kunststoffmischungen liefert nur Produkte, die weniger hochwertig sind als solche, die keine Anteile an Alt-Kunststoffen enthalten. Bekannt ist z. B. die Herstellung von Lärmschutzwänden, Blumenkübeln und dergleichen aus Alt-Kunststoffen.

Im Unterschied zu den bisher genannten Verfahren sind aber aus dem Stand der Technik auch Verwertungsverfahren bekannt, bei denen Mineralöle durch eine Spaltung und eine sich daran anschließende Hydrierung von Polymeren gewonnen werden. Bei diesen Verfahren handelt es sich um die degradative Extrusion zur Polymerverflüssigung sowie die eingangs erwähnte Hydrierung von Polymeren unter hohem Druck in Sumpfpfase-Reaktoren oder Hydrocrackern zur Gewinnung von Mineralölen. Die Betriebsbedingungen zeichnen sich bei den genannten Verfahren durch hohe Drücke und Temperaturen aus. Betriebsdrücke von bis zu 400 bar und Temperaturen bis zu 500°C sind üblich. Dadurch ist ein hoher Aufwand an Energie und eine aufwendige konstruktive und sicherheitstechnische Gestaltung der Anlagen für die Durchführung dieser Verfahren notwendig.

Der Erfindung liegt demzufolge die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren bereitzustellen, welches die aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile vermeidet.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren der eingangs erwähnten Art dadurch gelöst, daß die Polymere in einem ersten Verfahrensschritt in einen Reaktor gegeben werden, der wenigstens eine flüssige Phase enthält, und daß die Polymere in einem zweiten Verfahrensschritt mit Ultraschall in der flüssigen Phase aufgebrochen werden und die so erhaltenen reaktiven Polymerbruchstücke in einer sich direkt anschließenden Reaktion mit einem, zum Zeitpunkt des Entstehens der Polymerbruchstücke bereits im Reaktor vorhandenen Reaktionspartner zu den Verbindungen umgesetzt werden, die als Endprodukte des Verfahrens isolierbar sind und deren Reaktivität so gering ist, daß sie unter den Verfahrensbedingungen keine Vernetzungsreaktionen eingehen.

Das erfindungsgemäße Verfahren benutzt dabei die Tatsache, daß Polymere mittels Ultraschall abbaubar sind (A. Salzay, "The destruction of highly polymerized molecules by ultrasonic waves", Z. Phys. Chem. A164, 234—240 (1933)).

Bei der Anwendung von Ultraschall in flüssigen Systemen kommt es zur Ausbildung von sogenannten Kavitationen. Wenn diese Kavitationen kollabieren, entstehen "hot spots", d. h. es entstehen mikroskopische Bereiche in denen für einige Mikrosekunden sehr hohe Temperaturen (bis ca. 5000°C) und sehr hohe Drücke (bis zu 500 bar) auftreten, ohne daß dieses makroskopisch zu einer merklichen Veränderung der entsprechenden Betriebsparameter führt.

Bilden sich solche Kavitationen in der Nähe der Oberfläche von Polymerpartikeln, so kann es sowohl zur Verflüssigung der Polymere kommen, wobei eine Vermischung mit der flüssigen Phase eintreten kann, als auch zur Abspaltung von Molekülbruchstücken.

Gegenstand der Anmeldung ist dementsprechend eine Kombination der Spaltung von Polymeren mittels Ultraschall mit geeigneten Folgereaktionen. Hierbei ist es im Gegensatz zu den aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren möglich, bei der Wiederverwertung von Polymeren makroskopische Bedingungen einzuhalten, die leicht handzuhaben sind.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen die Reaktion, in der die im zweiten Verfahrensschritt erzeugten Polymerbruchstücke zu den als Endprodukten isolierbaren Verbindungen umgesetzt werden, entsprechend der in dem Verfahren zu verarbeitenden Polymeren zu wählen. Als solche nachgeschalteten Reaktionen finden bevorzugt die katalytische Hydrierung, die Verseifung bzw. Hydrolyse, Ammonolyse oder Alkoholyse Anwendung.

Ein überraschendes Ergebnis der erfindungsgemäßen Kombination der Spaltung von Polymeren mittels Ultraschall mit einer anschließenden katalytischen Hydrierung besteht in der Tatsache, daß die eingesetzten Polymere zu niedermolekularen Produkten abgebaut werden, die in üblichen Raffinerieverfahren weiter verarbeitbar sind und somit einem entsprechenden Kreislauf in der Petrochemie zugeführt werden können. Weiterhin ist es vorteilhaft, daß in dem Ausgangsmaterial enthaltene Heteroatome unter den Reaktionsbedingungen zumindest teilweise in ihre Wasserstoffverbindungen oder entsprechenden Salze überführt werden.

In einer besonderen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht die flüssige Phase aus Wasser oder einem Gemisch von Wasser und wenigstens einem organischen Lösungsmittel. Dabei ist es vorteilhaft, daß sich die Verfahrensprodukte in der organischen Phase anreichern können und zur Weiterverarbeitung in üblichen Raffinerieverfahren nur die wäßrige Phase abgetrennt werden muß. Darüber hinaus lösen sich die aus den in den Polymeren enthaltenen Heteroatomen gebildeten Salze in der wäßrigen Phase.

In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei die flüssige Phase zumindest teilweise von Wasser gebildet wird, ist der Hydrierungskatalysator als Katalysatorvorläufer in Form einer Raney-Legierung von Aluminium und/oder Silizium mit wenigstens einem Metall aus der Gruppe von Nickel, Cobalt, Eisen, Kupfer oder Molybdän in der flüssigen Phase enthalten. Dabei ist es möglich, den Raney-Katalysator in situ zu erzeugen, wodurch der bei der Erzeugung des Katalysators freiwerdende Wasserstoff für die Hydrierung verwendet werden kann. Darüber hinaus tritt die Zersetzung der Raney-Legierung zu dem eigentlichen

Raney-Katalysator unter Anwendung von Ultraschall wesentlich schneller als bisher üblich ein und außerdem ist durch die Einwirkung von Ultraschall über lange Zeit eine gleichbleibende Aktivität des Katalysators gewährleistet, da die Metalloberfläche durch den Einfluß von Ultraschall immer wieder von passivierenden Ablagerungen befreit wird bzw. sich solche passivierenden Ablagerungen unter Ultraschalleinfluß gar nicht erst bilden.

Es erweist sich weiterhin als besonders vorteilhaft, wenn der pH-Wert der flüssigen Phase, in der die Raney-Legierung enthalten ist, durch Zugabe von Alkali- und/oder Erdalkalihydroxiden bzw. -oxiden oder durch Zugabe einer wäßrigen Lösung dieser Verbindungen vor dem Beschallen mit Ultraschall erhöht wird. Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn unmittelbar nach Zugabe von wenigstens einer Alkalie der zweite Verfahrensschritt durchgeführt wird, so daß die Aktivierung des Katalysators beschleunigt und der dabei entstehende Wasserstoff zumindest teilweise an der Hydrierung der Molekülbruchstücke beteiligt ist. Auf diese Weise kann der größte Teil des Wasserstoffs, der bei der Erzeugung des Raney-Katalysators entsteht, für die Hydrierung der unter Ultraschalleinwirkung erzeugten Polymerbruchstücke genutzt werden.

In einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Dispersion einer Raney-Legierung, wie sie bereits oben beschrieben wurde, in einer wäßrigen alkalischen Lösung vor der Durchführung des zweiten Verfahrensschrittes in den Reaktor gegeben. Um einen möglichst großen Teil des sich aus der Dispersion entwickelnden Wasserstoffs für die Hydrierung der unter Ultraschalleinwirkung entstehenden Molekülbruchstücke nutzen zu können, ist es wiederum von besonderem Vorteil, wenn der zweite Verfahrensschritt direkt nach Zugabe der Dispersion durchgeführt wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird vorzugsweise ein bereits aktivierter Raney-Katalysator eingesetzt. Da es bei einem bereits aktivierten Raney-Katalysator nicht mehr notwendig ist, Legierungsbestandteile mittels einer Lauge aus dem Katalysatorvorläufer herauszulösen, kann die flüssige Phase somit auch ausschließlich aus einem nicht-wäßrigen Lösungsmittel oder Lösungsmittelgemisch bestehen.

Der sich aus der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit einer nicht-wäßrigen bis zur wasserfreien flüssigen Phase ergebende Vorteil liegt in der Tatsache, daß vor der Weiterverarbeitung der Reaktionsprodukte kein zusätzlicher Verfahrensschritt nötig ist, um das sonst vorhandene Wasser von der flüssigen Phase abzutrennen. Dieser Vorteil wird besonders dann sehr groß sein, wenn Lösungsmittel oder Produkte aus der flüssigen Phase destillativ entfernt bzw. abgetrennt werden sollen und die abzutrennenden Verbindungen in der Lage sind, mit Wasser Azeotrope zu bilden.

Das erfindungsgemäße Verfahren bietet darüber hinaus den besonderen Vorzug, bereits verwendete Hydrierungskatalysatoren aus anderen Hydrierungsverfahren, wie z. B. der Fetthärtung zur Margarineherstellung, einsetzen zu können. Diese Katalysatoren besitzen in der Regel eine relativ geringe Aktivität, weil ihre katalytisch aktive Oberfläche zumindest teilweise bei der bisherigen Verwendung durch Verunreinigungen blockiert wurde.

Sinkt die Aktivität der Katalysatoren unter einen bestimmten Grenzwert, ist es bei den bekannten Katalyse-

verfahren in der Regel nur möglich, den Katalysator in einem aufwendigen Verfahren zu regenerieren oder zu entsorgen, wobei beide Möglichkeiten oftmals einen sehr großen Aufwand bedingen.

In dem erfindungsgemäßen Verfahren können diese in ihrer Aktivität deutlich verminderten Katalysatoren jedoch eingesetzt werden, weil die Katalysatoroberfläche unter der Einwirkung von Ultraschall von den abgelagerten Verunreinigungen befreit und somit die Katalysatoraktivität wieder erhöht wird.

Die Art der für die Hydrierung verwendeten Katalysatoren ist dementsprechend auch nicht auf Raney-Katalysatoren beschränkt. Die Verwendung z. B. von Palladium, Platin, Rhodium oder ähnlichen Metallen als Katalysatoren in dem erfindungsgemäßen Verfahren ist ebenso möglich.

Weiterhin ist es bei dem erfindungsgemäßen Verfahren von besonderem Vorteil, während des zweiten Verfahrensschrittes zusätzlich Wasserstoff in die flüssige Phase einzuleiten, um auf diese Weise eine möglichst vollständige und sofort nach der Bindungsspaltung erfolgende Hydrierung der Polymerbruchstücke sicherzustellen.

Der besondere Nutzen dieser Verfahrensweise ist darin begründet, daß durch die sofortige Hydrierung der Molekülbruchstellen eine Folgereaktion, wie z. B. eine Vernetzungsreaktion, unterbunden oder unmöglich wird. Gerade dieses ist von besonderer Bedeutung, da das im erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzte polymere Material abgebaut und nicht höher vernetzt werden soll.

In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird während des zweiten Verfahrensschrittes Kohlenmonoxid in die flüssige Phase eingeleitet. Hierbei ist es zweckmäßig, wenn der Reaktor einen Eisen-, Chrom-, Kupfer-, Zink- und/oder Aluminiumoxid enthaltenden Katalysator enthält, so daß das eingeleitete Kohlenmonoxid mit dem in der flüssigen Phase zweckmäßig enthaltenen Wasser katalytisch zu Wasserstoff und Kohlendioxid umgesetzt wird, wobei mit dem so entstandenen Wasserstoff die Polymerbruchstücke katalytisch hydriert werden.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung dieses Verfahrens wird während des zweiten Verfahrensschrittes Synthesegas, Wassergas oder ein anderes, im wesentlichen Kohlenmonoxid und Wasserstoff enthaltendes Prozeßgas, in die flüssige Phase eingeleitet. Die besonderen Vorteile dieser Verfahrensweise liegen darin begründet, daß vermieden wird, relativ teures Wasserstoffgas einzusetzen.

In einer anderen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist das zu spaltende Polymer vorzugsweise durch eine Kondensationsreaktion aufgebaut worden. Beispiele für solche Polymere sind Polyester, Polyamide oder dergleichen.

Besonders vorteilhaft ist es, die durch Ultraschalleinwirkung im zweiten Verfahrensschritt entstandenen Polymerbruchstücke von Polyestern durch eine Verseifungsreaktion zu den als Endprodukten des Verfahrens isolierbaren Verbindungen umzusetzen. Hierdurch sind die Ausgangsverbindungen zur Polyester-Herstellung wieder erhältlich, so daß ein vollständiger Wiederverwertungskreislauf geschaffen wird.

Weitere besonders bevorzugte Reaktionen zur Umsetzung der in dem zweiten Verfahrensschritt mittels Ultraschall erzeugten Polymerbruchstücke sind die Alkoholyse, die Ammonolyse oder dergleichen.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist außerdem sehr

wirtschaftlich, da keine allzu hohen Anforderungen an das zu spaltende Material gestellt werden und Verfahrensparameter wie insbesondere Druck und Temperatur in einem Bereich liegen, der ohne besonderen konstruktiven Aufwand oder hohen Einsatz an Energie erreicht wird. So arbeitet das Verfahren vorzugsweise bei einem Betriebsdruck von 0,1 bis 10 bar und einer Temperatur von 0 bis 150°C. Weiterhin ist es nicht notwendig, die zu spaltenden Polymere sortenrein in dem Verfahren einzusetzen. Darüber hinaus ist es aber von Vorteil, daß einzusetzende Material vor der Durchführung des Verfahrens zu zerkleinern. Dieses läßt sich am besten am Beispiel von Kunststoffabfällen verdeutlichen, da bei der Zerkleinerung zu Pulver, Granulat oder geschreddertem Kunststoff gleichzeitig eine gewisse Homogenisierung der verschiedenen Anteile der eingesetzten Kunststoffabfälle erfolgt. Enthält das eingesetzte Material auch Zusätze wie Weichmacher, Stabilisatoren, Antioxidationsmittel, Gleitmittel, Farbstoffe, Flammschutzmittel und andere in der Polymerverarbeitung üblichen Hilfsstoffe, stört dies das erfindungsgemäße Verfahren nicht, so daß eine sehr breite Anwendung des Verfahrens auf verschiedenste Polymere und Kunststoffe möglich ist.

Bei einer besonderen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Reaktionsprodukte je nach gewünschter mittleren Molmasse aus dem Gemisch entfernt. Dieses geschieht vorzugsweise durch Destillation zur Entfernung von Reaktionsprodukten mit niedrigem Siedepunkt und durch Extraktion zur Entfernung von höhermolekularen Produkten.

Im folgenden soll anhand von Fig. 1 eine bevorzugte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert und verdeutlicht werden, wobei in Fig. 1 ein schematischer Aufbau zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt ist.

Über Zuleitungen 1 und 2 erfolgt eine Zufuhr von Gasen, Flüssigphase und zu spaltendem Polymer in einen Rührkesselreaktor 3. Durch einen über einen Wärmetauschereinlaß 4 und einen Wärmetauscher auslaß 5 gespeisten Wärmetauscher wird der Rührkesselreaktor 3 temperiert, so daß die in dem Rührkesselreaktor enthaltene flüssige Phase auf eine optimale Temperatur eingestellt ist, wenn sie durch eine Pumpe 6 umgewälzt wird. Nach der Pumpe 6 folgt in Flußrichtung eine Ultraschalldurchflußzelle 7, in der die Spaltung des in der flüssigen Phase enthaltenen Polymers sowie die Reaktion zu den isolierbaren Endprodukten erfolgt. Eine Steuerung der Durchflußrate durch die Ultraschalldurchflußzelle 7 erfolgt über die Regelung der Pumpleistung der Pumpe 6. In einer zur Ultraschalldurchflußzelle 7 nachfolgenden Stufe wird eine Extraktionsstelle 8 gespeist, in der höhermolekulare Spaltprodukte aus der flüssigen Phase entfernt werden, bevor diese wieder in den Rührkesselreaktor 3 gelangt. Niedermolekulare Spaltprodukte werden bevorzugt über eine Auslaßleitung 9 aus dem Rührkesselreaktor 3 abgeführt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Spaltung von Polymeren, insbesondere zur Wiederverwertung von Kunststoffen, dadurch gekennzeichnet, daß die Polymere in einem ersten Verfahrensschritt in einen Reaktor gegeben werden, der wenigstens eine flüssige Phase enthält, und daß die Polymere in einem zweiten Verfahrensschritt mit Ultraschall in der flüssigen Phase aufgebrochen werden und die so erhaltenen

reaktiven Polymerbruchstücke in einer sich direkt anschließenden Reaktion mit einem, zum Zeitpunkt des Entstehens der Polymerbruchstücke bereits im Reaktor vorhandenen Reaktionspartner zu den Verbindungen umgesetzt werden, die als Endprodukte des Verfahrens isolierbar sind und deren Reaktivität so gering ist, daß sie unter den Verfahrensbedingungen keine Vernetzungsreaktionen eingehen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die reaktiven Polymerbruchstücke direkt nach ihrer Entstehung katalytisch hydriert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der zur Hydrierung verwendete Katalysator vor dem zweiten Verfahrensschritt in Form einer Raney-Legierung von Aluminium und/oder Silizium mit wenigstens einem Metall aus der Gruppe von Nickel, Cobalt, Eisen, Kupfer oder Molybdän in den Reaktor gegeben wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß Alkali- und/oder Erdalkalihydroxide bzw. -oxide oder eine wäßrige Lösung dieser Verbindungen vor dem zweiten Verfahrensschritt in den Reaktor gegeben werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Verfahrensschritt unmittelbar nach Zugabe der Alkaliverbindung oder deren wäßriger Lösung durchgeführt wird, so daß die Aktivierung des Katalysators durch die Ultraschalleinwirkung beschleunigt wird und der dabei entstehende Wasserstoff zumindest teilweise an der Hydrierung der Polymerbruchstücke beteiligt ist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Dispersion einer Raney-Legierung aus Aluminium und/oder Silizium mit wenigstens einem Metall aus der Gruppe von Nickel, Cobalt, Eisen, Kupfer oder Molybdän in einer alkalischen wäßrigen Lösung vor der Durchführung des zweiten Verfahrensschrittes in den Reaktor gegeben wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß unmittelbar nach der Zugabe der alkalischen Dispersion der Raney-Legierung der zweite Verfahrensschritt durchgeführt wird, so daß die Aktivierung des Katalysators beschleunigt wird und der dabei entstehende Wasserstoff zumindest teilweise an der Hydrierung der Molekülbruchstücke beteiligt ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem zweiten Verfahrensschritt ein bereits aktivierter Raney-Katalysator in den Reaktor gegeben wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem zweiten Verfahrensschritt ein bereits in anderen Prozessen benutzter Hydrierungskatalysator mit verminderter Aktivität in den Reaktor gegeben wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß während des zweiten Verfahrensschrittes Wasserstoff in die flüssige Phase eingeleitet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren in einem nicht-wäßrigen bis wasserfreien Lösungsmittel durchgeführt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß während des zweiten

Verfahrensschrittes Kohlenmonoxid in die flüssige Phase eingeleitet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß mittels eines Eisen-, Chrom-, Kupfer-, Zink- und/oder Aluminiumoxid enthaltenen Katalysators das eingeleitete Kohlenmonoxid mit dem in der flüssigen Phase enthaltenen Wasser katalytisch zu Wasserstoff und Kohlendioxid umgesetzt wird, wobei mit dem so entstandenen Wasserstoff die Polymerbruchstücke katalytisch hydriert werden. 5 10

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß während des zweiten Verfahrensschrittes Synthesegas, Wassergas oder ein anderes, im wesentlichen Kohlenmonoxid und Wasserstoff enthaltendes Prozeßgas in die flüssige Phase eingeleitet wird. 15

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß mittels eines Eisen-, Chrom-, Kupfer-, Zink- und/oder Aluminiumoxid enthaltenden Katalysators das in dem Prozeßgas enthaltene Kohlenmonoxid mit dem in der flüssigen Phase enthaltenen Wasser katalytisch zu Wasserstoff und Kohlendioxid umgesetzt wird, wobei die Polymerbruchstücke mit dem so entstandenen Wasserstoff katalytisch hydriert werden. 20 25

16. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zu spaltende Polymer ein durch eine Kondensationsreaktion aufgebauter Polyester, Polyamid oder dergleichen ist. 30

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die durch Ultraschalleinwirkung im zweiten Verfahrensschritt entstandenen Polymerbruchstücke durch eine Versteifungsreaktion zu den als Endprodukten des Verfahrens isolierbaren Verbindungen umgesetzt werden. 35

18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die durch Ultraschalleinwirkung im zweiten Verfahrensschritt entstandenen Polymerbruchstücke durch eine Alkoholyse, Ammonolyse oder dergleichen zu den als Endprodukten des Verfahrens isolierbaren Verbindungen umgesetzt werden. 40

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zu spaltende Material aus einem gepulverten, einem granulierten oder einem geschredderten Polymer besteht. 45

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens der zweite Verfahrensschritt bei einem Druck bis 10 bar und einer Temperatur von 0 bis 150°C durchgeführt wird. 50

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Reaktionsprodukte ständig durch Destillation oder Extraktion entfernt werden. 55

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

60

65

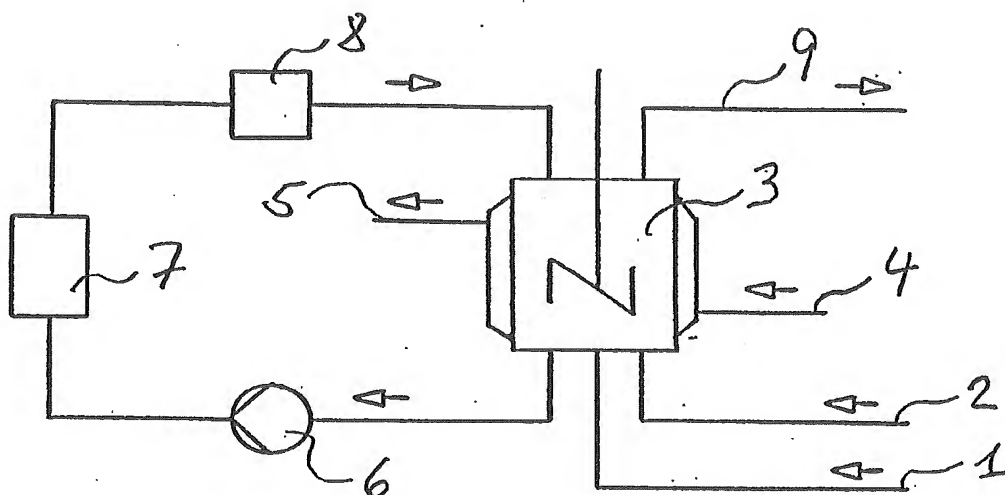


Fig. 1